“双碳”目标下新疆粮食绿色全要素生产率的时空分异及驱动因素分析

马文江[1]， 白妙琴[1]， 阿迪力·艾合买提[1]， 张德平[1]， 杨忠娜[1,2]
（1. 塔里木大学经济与管理学院，新疆 阿拉尔 843300；2. 华中农业大学经济管理学院，湖北 武汉 430070）

摘 要：新疆粮食生产潜力巨大，是我国重要的后备耕地资源供给区。双碳目标下测算新疆粮食绿色全要素生产率（GTFP）对于新疆农业绿色转型发展及粮食安全均具有重要意义。将非期望产出粮食生产碳排放纳入粮食GTFP测度框架，基于SBM-GML模型对新疆14个地州市2000—2020年的粮食GTFP进行测算；并利用核密度估计法和Dagum基尼系数分解法对新疆各地区的粮食GTFP进行时空演进态势分析；最后运用固定效应模型甄别出影响新疆粮食GTFP的驱动因素。结果表明：（1）2000—2020年新疆粮食GTFP呈上升趋势，年均增长率为0.7%，主要受益于粮食绿色技术效率（GEC）变化，掣肘于粮食绿色技术进步（GTC）。（2）新疆粮食GTFP的增长存在区域异质性，从三大区域划分视角来看，北疆>东疆>南疆。（3）时间上地区差距大致呈先缩小后增大的变化进程，空间差异主要来源于区域内差异。此外，粮食种植结构的变化显著促进了新疆粮食GTFP的增长，而城镇化水平和农村用电量则产生了显著的抑制作用。

关 键 词：粮食GTFP；动态演变；驱动因素；碳排放；新疆
文章编号：1000-6060(2023)12-2029-13(2029~2041)

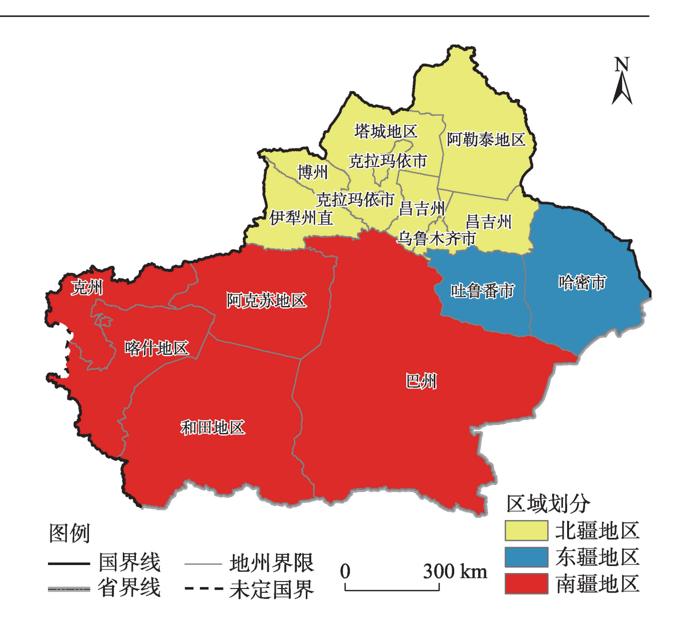
由碳排放所导致的全球气候变化对粮食安全、农业绿色转型以及经济社会可持续发展造成了严重的威胁，已然成为世界上所有国家将面对的共同挑战[1]。而提高粮食绿色全要素生产率（GTFP）是实现粮食产业可持续发展的重要路径之一[2]。改革开放以来，中国农业经济取得了举世瞩目的成就，实现了用全球7%的耕地养活了占全球22%的人口。然而在农业经济快速增长的过程中，中国农业面临着资源过度消耗、面源污染严重和生态环境日趋恶化等诸多问题的严峻考验。同样，2000—2021年，新疆农用化肥使用量从79.16×10^4 t增长到240.69×10^4 t，年均增长率高达9.3%，过度施肥导致的环境污染和减排能力不足等问题日益突出[3]。在资源和环境双重限制的情况下，如何寻找一条绿色的、高效的粮食增产途径，从而保证新疆粮食可持续安全，是新疆当前亟待解决的问题[4]。

目前，学术界对农业GTFP的测算、动态演进和影响因素等方面进行了大量研究[5-6]。大致分为以下3个方面：（1）GTFP测算方法。目前，国内外对GTFP的研究主要分为2种类型，一种是以随机前沿生产函数（SFA）为代表的参数化估计法[7]，另一种则是以数据包络分析法（DEA）为代表的非参数化估计法[8]。李翔等[9]采用随机前沿分析法对华东6个省份的农业全要素生产率（TFP）进行了实证研究，认为在我国东部地区增加农业科技创新等投资能够有效地提升TFP的总体效率。范丽霞[10]利用SBM-ML指数法计算了中国1978—2012年各省市的粮食TFP，结果表明中国粮食TFP增长呈较明显的

收稿日期：2023-04-13； **修订日期**：2023-10-10
基金项目：塔里木大学研究生科研创新项目（TDGRI202267）；塔里木大学研究生教育教学改革研究项目（TDETR202218）；农业经济管理教改委项目（NJX22141）资助
作者简介：马文江（2001-），女，硕士研究生，主要从事特色农业经济研究. E-mail: 1137089614@qq.com
通讯作者：杨忠娜（1983-），女，副教授，硕士生导师，主要从事特色农业经济研究. E-mail: yangzhongna@126.com

空间非均衡性特征；高铭等[11]将EBM-GML综合指数应用于河南省小规模农户调查资料中，对小麦的TFP进行测算；代瑞熙等[12]利用非面源污染、碳排放等非均衡性指标，采用SBM-ML模型对我国15个省市2004—2019年的小麦TFP进行了测度。(2) GTFP时空分异动态演变的刻画。研究方法主要有Dagum基尼系数、核密度估计和空间Markov链等计量方法，潘丹等[13]利用核密度估计、Markov链法等方法，研究了区域之间的农业GTFP增长差异，并指出区域之间的农业GTFP增长趋势将会继续扩大；李欠男等[14]利用2000—2017年中国330个地级城市的面板数据，采用Dagum基尼系数、核密度估计和空间Markov链方法揭示区域差异及动态演变路径。(3) GTFP的影响因素研究。对农业GTFP影响因素的相关研究中，大多数学者认同的影响因素有：农业受灾率、农作物播种面积、机械化水平、生产劳动力、灌溉设施水平、经济发展水平、产业结构、城镇化水平和环境规制等[15-16]。何悦等[17]在实证研究中发现，我国粮食产业的科技效率与人口城市化进程之间存在着"倒U型"效应；尹朝静[18]研究发现农业科研投入能够显著促进农业TFP的提高，而农业人力资本对农业TFP的促进作用并不显著；傅玮韡等[19]认为通过生产聚集可以从供给端提升生产聚集的质量与效率，是实现种植业可持续发展的重要途径。

综上所述，目前学术界关于农业GTFP的研究已经取得了比较丰硕的成果，与已有研究相比，本文的边际学术贡献为：第一，本研究应用于粮食生产领域，采用超效率SBM模型并结合GML指数对新疆14个地州市的粮食GTFP进行测度，提高粮食GTFP测算的精确度；第二，利用核密度估计法和Dagum基尼系数测度及分解方法，实证考察新疆粮食GTFP时空动态演变规律；第三，运用时空双向固定模型，并考虑区域差异性，分别对新疆全疆、北疆、东疆和南疆粮食GTFP的驱动因素进行分析，为新疆粮食实现绿色高效生产提供理论支撑。



注：基于自然资源部地图技术审查中心标准地图服务网的审图号为GS(2019)1822号的标准地图绘制，底图边界无修改。昌吉州、伊犁州直、博州、巴州和克州分别为昌吉回族自治州、伊犁哈萨克自治州直属县市、博尔塔拉蒙古自治州、巴音郭楞蒙古自治州、克孜勒苏柯尔克孜自治州的简称。下同。

图1 新疆三大区域地理划分

Fig. 1 Geographical division of the three main regions of Xinjiang

1 数据与方法

1.1 研究区概况

新疆(34°22′~49°10′N，73°40′~96°23′E)地处中国西北内陆，现有14个地州，按地理位置可划分为北疆、东疆和南疆(图1)，北疆包括乌鲁木齐市、克拉玛依市、昌吉回族自治州(昌吉州)、伊犁哈萨克自治州直属县市(伊犁州直)、塔城地区、阿勒泰地区和博尔塔拉蒙古自治州(博州)；东疆包括吐鲁番市和哈密市；南疆包括巴音郭楞蒙古自治州(巴州)、阿克苏地区、克孜勒苏柯尔克孜自治州(克州)、喀什地区与和田地区。2020年新疆粮食种植面积223.02×10^4 hm^2，粮食产量1583.4×10^4 t，较2019年增产9.6%。化肥施用量、农用柴油使用量、地膜覆盖面积分别高达248.23×10^4 t、85.22×10^4 t、355.34×10^4 hm^2，当前全疆仍面临化肥农药使用超标、农业资源过度开发及技术不足等问题[20]。以往研究粮食安全问题和粮食GTFP更多侧重于粮食主产地区，2022年《新疆维吾尔自治区粮食安全保障条例》的实施，进一步显现新疆粮食安全问题的重要性。当前新疆粮食GTFP的测算与驱动要素研究相对不足，因此，本文通过甄别新疆粮食GTFP的驱动因素，对于推动新疆各地区粮食生产绿色化转型具有现实意义[21]。

1.2 指标选取与数据来源

本文以新疆14个地州市为决策单元，研究时段为2000—2020年，选取粮食产量为产出指标，将劳

动力、土地、化肥、灌溉、机械作为投入指标[22-23]，其中劳动力投入(10^4人)以粮食生产从业人数表示，用农业总产值与农林牧渔业总产值的比重乘以粮食种植面积与农作物种植总面积的比重，再乘以第一产业从业人数来表示；土地投入(10^3 hm^2)以粮食播种面积表示；化肥投入(10^4 t)以农用化肥施用折纯量乘以粮食种植面积与农作物种植总面积的比重来表示；灌溉投入(10^3 hm^2)以有效灌溉面积乘以粮食种植面积与农作物种植总面积的比重来表示；机械投入(10^4 kW)以农业机械总动力乘以粮食种植面积与农作物种植总面积的比重来表示；非期望产出指标为粮食生产碳排放量(10^4 t)；期望产出指标为粮食总产量(10^4 t)[24]。以上投入产出指标及驱动因素指标所需数据来源于EPS数据库和《新疆统计年鉴》(2001—2021年)等官方权威数据。少量缺失值采用均值替代法与线性插值法进行补全，另对个别异常值进行了处理。

1.3 研究方法

1.3.1 粮食GTFP的测算 本文采用SBM-GML指数模型测算粮食GTFP。Tone[25]提出的超效率SBM模型可以解决"松弛"和"生产率评估"2个问题。具体的模型设定如下：

$$\min\rho=\frac{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{\bar{x}}{x_{ik}}}{\frac{1}{s_1+s_2}\left(\sum_{r=1}^{s_1}\frac{\bar{y}}{y_{rk}}+\sum_{l=1}^{s_2}\frac{\bar{q}}{q_{lk}}\right)}$$

$$\text{s.t.}\begin{cases}\bar{x}\geqslant\sum_{j=1,\neq k}^{m}\lambda_j x_{ij},\ i=1,2,\cdots,n\\ \bar{y}\leqslant\sum_{j=1,\neq k}^{m}\lambda_j y_{rj},\ r=1,2,\cdots,s_1\\ \bar{q}\geqslant\sum_{j=1,\neq k}^{m}\lambda_j q_{lj},\ l=1,2,\cdots,s_2\\ \bar{x}\geqslant x_k,\ \bar{y}\leqslant y_k,\ \bar{q}\geqslant q_k,\ \lambda_j\geqslant 0,\\ j=1,2,\cdots,m\end{cases}\tag{1}$$

式中：$\min\rho$为目标效率值；n、s_1和s_2分别为投入指标、期望产出和非期望产出的个数；m为被评价单元数量；x_{ik}、y_{rk}和q_{lk}分别为第k个被评价单元的第i个投入指标、第r个期望产出指标和第l个非期望产出指标；$\bar{x}$、$\bar{y}$和$\bar{q}$分别为投入、期望产出与非期望产出的松弛量；x_{ij}、y_{rj}和q_{lj}分别为第j个被评价单元的投入、期望产出和非期望产出；λ_j为第j个被评价单元的权系数；x_k、y_k和q_k分别为第k个被评价单元的最优投入、期望产出和非期望产出。但超效率SBM模型测算的粮食GTFP仅对单一特定时间节点的效率值进行评估，与ML指数结合可计算出动态粮食GTFP，但是传统的ML指数不包含非预期产出[26]，因此，本文采用Oh[27]提出的包含非预期产出的GML指数找寻新疆粮食GTFP变化的动态特征，分解为绿色技术效率变化指数(GEC)和绿色技术进步指数(GTC)，GML指数[27]的计算公式为：

$$\begin{aligned}&\text{GML}^{t,t+1}(x^t,y^t,b^t,x^{t+1},y^{t+1},b^{t+1})\\&=\frac{1+D^g(x^t,y^t,b^t)}{1+D^g(x^{t+1},y^{t+1},b^{t+1})}\\&=\frac{1+D^t(x^t,y^t,b^t)}{1+D^{t+1}(x^{t+1},y^{t+1},b^{t+1})}\times\\&\left[\frac{1+D^g(x^t,y^t,b^t)}{1+D^t(x^t,y^t,b^t)}\times\frac{1+D^{t+1}(x^{t+1},y^{t+1},b^{t+1})}{1+D^g(x^{t+1},y^{t+1},b^{t+1})}\right]\\&=\text{GEC}^{t,t+1}\times\text{GTC}^{t,t+1}\end{aligned}\tag{2}$$

式中：$\text{GML}^{t,t+1}$、$\text{GEC}^{t,t+1}$和$\text{GTC}^{t,t+1}$分别为t到$t+1$时期的粮食绿色全要素生产率指数、绿色技术效率变化指数和绿色技术进步指数；x^t、y^t和b^t与x^{t+1}、y^{t+1}和b^{t+1}分别为在t期与$t+1$期的投入、期望产出和非期望产出；$D^g(x^t,y^t,b^t)$和$D^g(x^{t+1},y^{t+1},b^{t+1})$分别为在$t$期和$t+1$期全局方向性距离函数；$D^t(x^t,y^t,b^t)$和$D^{t+1}(x^{t+1},y^{t+1},b^{t+1})$分别为在$t$期和$t+1$期的生产技术集；如果$\text{GML}^{t,t+1}$、$\text{GEC}^{t,t+1}$、$\text{GTC}^{t,t+1}$均大于1，说明粮食绿色全要素生产率、绿色技术效率、绿色技术进步处于优化阶段；反之说明处于恶化状态，等于1则表示不变。

1.3.2 粮食生产碳排放计算 已有研究多将农业土地利用的碳排放归结为人类在农业土地利用中所产生的直接和间接碳排放。通过对现有文献的分析[28-29]和数据的可获得性，本文将新疆各地区在粮食生产过程中的碳排放主要总结为以下4个方面：(1) 化肥生产和使用产生的碳排放；(2) 农用柴油的燃烧产生的碳排放；(3) 粮地翻耕破坏土壤产生的碳排放；(4) 粮食灌溉过程中电能利用间接耗费化石燃料所产生的碳排放。综上，粮食生产碳排放的计算公式为：

$$E=\sum E_i=\sum T_i\times\delta\tag{3}$$

式中：E为粮食生产中的碳排放总量(kg C)；E_i为i类碳源的排放量(kg C)；T_i为i类碳排放源的量(kg C)；δ为各碳排放源的碳排放系数(kg C·kg^{-1})。本文归纳出粮食生产中碳排放系数(表1)。

表1 粮食生产碳排放系数及参考来源

Tab. 1 Carbon emission factors and reference sources of grain production

碳源	碳排放系数	参考来源
化肥	0.8956 kg C·kg^{-1}	美国橡树岭国家实验室(OPNL)
柴油	0.5927 kg C·kg^{-1}	政府间气候变化专门委员会(IPCC)[30]
翻耕	312.6 kg C·hm^{-2}	中国农业大学农学与生物技术学院(IABCAU)
灌溉	266.48 kg C·hm^{-2}	段华平等[31]

1.3.3 核密度估计法 本文采用非参数核密度估计分析新疆粮食GTFP的分布动态[32]。假设粮食GTFP的密度函数为:

$$f(u)=\frac{1}{Nh}\sum_{i=1}^{N}K\left(\frac{U_i-u}{h}\right) \tag{4}$$

式中:N为观测值数目;h为带宽;U_i为第i年的粮食GTFP增长指数;u为均值;$K\left(\frac{U_i-u}{h}\right)$为高斯核函数。

1.3.4 Dagum基尼系数分解法 Dagum基尼系数分解相较于传统的基尼系数及泰尔指数更为准确地辨析地区差距的来源问题。因此,本文选用Dagum基尼系数分解法对新疆整体、北疆、东疆和南疆粮食GTFP的区域差异进行分析[33],具体计算公式为:

$$G=\sum_{j=1}^{k}\sum_{h=1}^{k}\sum_{i=1}^{n_j}\sum_{r=1}^{n_h}\frac{\left|y_{ji}-y_{hr}\right|}{2un^2} \tag{5}$$

$$G_{jj}=\frac{\sum_{i=1}^{n_j}\sum_{r=1}^{n_h}\left|y_{ji}-y_{jr}\right|}{2\bar{y}_j n_j^2} \tag{6}$$

$$G_{jh}=\frac{\sum_{i=1}^{n_j}\sum_{r=1}^{n_h}\left|y_{ji}-y_{jr}\right|}{n_j n_h(\bar{y}_j+\bar{y}_h)} \tag{7}$$

$$G_w=\sum_{j=1}^{k}G_{jj}p_j s_j \tag{8}$$

$$G_{nb}=\sum_{j=2}^{k}\sum_{h=1}^{j-1}G_{jh}(p_j s_h+p_h s_j)D_{jh} \tag{9}$$

$$G_t=\sum_{j=2}^{k}\sum_{h=1}^{j-1}G_{jh}(p_j s_h+p_h s_j)(1-D_{jh}) \tag{10}$$

$$D_{jh}=\frac{d_{jh}-p_{jh}}{d_{jh}+p_{jh}} \tag{11}$$

$$d_{jh}=\int_0^{\infty}\mathrm{d}F_j(y)\int_0^{y}(y-x)\mathrm{d}F_h(x) \tag{12}$$

$$p_{jh}=\int_0^{\infty}\mathrm{d}F_h(y)\int_0^{y}(y-x)\mathrm{d}F_j(x) \tag{13}$$

式中:G为总基尼系数;k、n分别为区域个数、区域内地州市数量;u为新疆粮食GTFP总体发展水平;j、h分别为不同区域;n_j、n_h分别为j、h区域内地州市数量;y_{ji}、y_{hr}分别为j、h区域的第i、r地州市的粮食GTFP发展水平;$\bar{y}_j$、$\bar{y}_h$分别为j、h区域内的粮食GTFP发展水平均值;G_{jj}为区域j内基尼系数;G_{jh}为区域j和区域h间基尼系数;Dagum基尼系数可分解为区域内差异(G_w)、区域间差异(G_{nb})和超变密度(G_t),满足$G=G_w+G_{nb}+G_t$;p_j、p_h分别为j、h区域内地州市数量占区域内地州市总数量的比重;s_j、s_h分别为j、h区域内地州市数量和j、h区域内的粮食GTFP发展水平均值的乘积与区域内地州市总数量和区域内粮食GTFP发展水平总均值的乘积的比值;D_{jh}为j和h区域间粮食GTFP发展水平的互相影响;d_{jh}、p_{jh}分别为j和h区域中满足$y_{jh}-y_{ji}>0$以及$y_{ji}-y_{jh}>0$的样本总和的数学期望;F_j、F_h分别为j、h区域内累积密度分布函数。

2 结果与分析

2.1 新疆粮食GTFP时序差异分析

应用2000—2020年新疆14个地州市投入产出数据,采用Matlab软件并基于SBM-GML指数法测算并分解各年度14个地州市粮食GTFP指数,并对时间变化进行分析(表2)。从2000—2020年来看,新疆粮食GTFP的平均增长率为0.7%,表明粮食生产的综合生产能力有了很大的提升。从增长来源来看,新疆粮食GTFP的增长在很大程度上是通过提高粮食GEC来实现,且粮食GEC指数年均增长1%,而粮食GTC指数则呈现负增长,年均增长为-0.4%,说明2000—2020年新疆粮食GTFP增长呈现出技术恶化,而技术效率增强的格局,这是“单驱”型增长的典型特征[34],其主要原因在于新疆粮食作物种植规模大,新技术在粮食作物上得到广泛应用,农业科技转化率高,但受制于农业财政资金投入相对不足,制约了粮食作物的科技水平的提升。

2.2 新疆粮食GTFP空间差异分析

为了更好地反映新疆粮食GTFP水平的空间格局,本文采用GIS技术将2000—2020年14个地州市的粮食GTFP、GEC和GTC的均值进行了刻画(图

表2　2000—2020年新疆粮食绿色全要素生产率（GTFP）指数及其分解

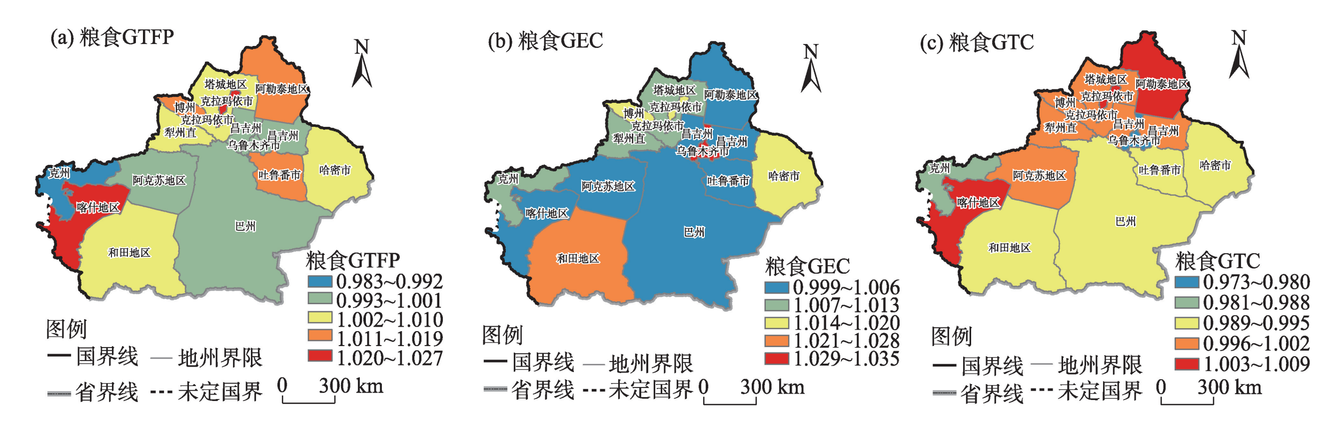
Tab. 2　Grain green total factor productivity index and its decomposition in Xinjiang during 2000—2020

年度	绿色技术效率(GEC)	绿色技术进步(GTC)	绿色全要素生产率(GTFP)
2000—2001	0.994	0.906	0.901
2001—2002	0.997	0.985	0.981
2002—2003	1.012	0.982	0.994
2003—2004	1.005	0.986	0.989
2004—2005	1.040	0.906	0.936
2005—2006	0.996	1.047	1.044
2006—2007	1.030	0.938	0.962
2007—2008	0.996	1.061	1.056
2008—2009	0.991	0.971	0.962
2009—2010	1.009	0.969	0.977
2010—2011	1.019	0.972	0.989
2011—2012	1.004	0.980	0.984
2012—2013	1.001	1.022	1.024
2013—2014	1.010	0.951	0.967
2014—2015	1.040	1.009	1.042
2015—2016	0.976	1.131	1.099
2016—2017	1.026	0.881	0.902
2017—2018	1.062	1.397	1.506
2018—2019	0.986	0.967	0.953
2019—2020	1.006	0.853	0.866
均值	1.010	0.996	1.007

2)。新疆粮食GTFP整体呈现出"北高南低"的分布特征。新疆粮食GTFP较高的地区主要分布在北疆,尤其是克拉玛依市、博州和阿勒泰地区。新疆粮食GTFP较低的城市主要分布在南疆,包括克州、巴州和阿克苏等地区,这些地区的经济发展水平及基础设施落后等因素在一定程度上制约了新疆粮食绿色发展。而新疆粮食GEC分布较为均衡。其中,乌鲁木齐市的粮食GEC水平最高。可能的原因在于乌市粮食种植范围小、粮农接收新信息的水平高,在一定程度上促进了新技术的推广。而新疆粮食GTC分布不均衡,呈现出"北高南低"的分布特征。全疆视角下2000—2020年北疆阿勒泰地区、克拉玛依市、塔城地区、博州、昌吉州和伊犁州直的粮食GTC的均值均呈现较高发展态势;东疆哈密市和吐鲁番市的粮食GTC处于中等发展水平;而南疆内部的粮食GTC水平两极分化较为严重,其中仅喀什地区粮食GTC呈现上升水平,可能的原因在于喀什地区作为中国内陆第一个经济特区,政府重视对农业财政科技投入,一定程度上促进了粮食生产科技水平。

2.3　新疆粮食GTFP时间动态演变

为了进一步分析新疆粮食GTFP的动态演变规律,绘制其核密度估计图(图3)。分别以2001、2006、2011、2019年为参照,该4 a时间序列的核密度图可粗略揭示新疆14个地州市的粮食GTFP演化趋势。从位置来看,新疆粮食GTFP水平的核密度分布曲线呈现出先左移后右移的趋势。2011年核密度分布曲线的位置最靠左,说明2011年新疆各地区粮食GTFP处于较低的水平。与2011年相比,2019年核密度分布曲线大幅度右移,波峰对应的可持续发展水平明显增大,说明2011—2019年新疆各地区粮食GTFP水平有明显提升。造成这一现象的主要原因是:在2011—2019年期间,2016年中央"一号文件"明确提出了"农业绿色发展";2019年的"一号文件"中明确提出,要坚持以创新驱动为核心的



注:GTFP为绿色全要素生产率;GEC为绿色技术效率;GTC为绿色技术进步。下同。

图2　新疆14个地州的粮食GTFP、GEC、GTC空间差异

Fig. 2　Spatial differences of grain GTFP, GEC and GTC in 14 prefectures of Xinjiang

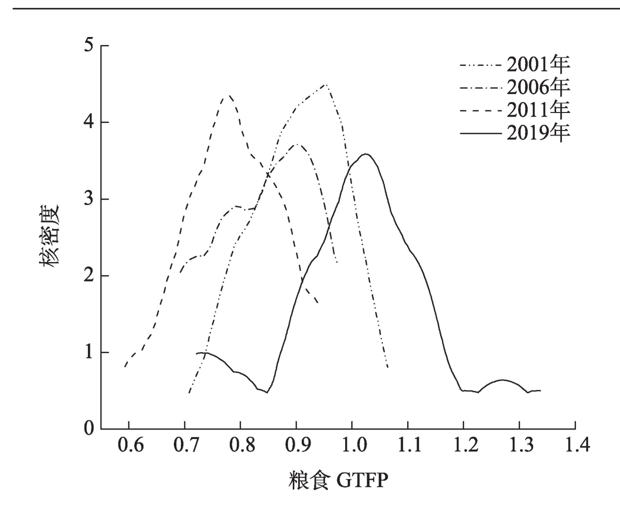


图3 2001、2006、2011年和2019年新疆粮食GTFP的时间动态演变规律

Fig. 3 Temporal dynamics evolution of grain GTFP of Xinjiang in 2001, 2006, 2011 and 2019

发展理念,坚持"以质量为主导"的理念[35]。从形态来看,2001年和2011年核密度分布曲线均为单峰形状,2006年呈双峰现状,而2019年呈多锋形状,表明新疆粮食GTFP水平呈现出先收敛再两极分化的现象。从峰度来看,核密度分布曲线波峰出现了"先降后升再降"的变化趋势,与2001年相比,2006年核密度分布曲线峰度下降,表明新疆各地区粮食GTFP水平差异变大;2011年核密度曲线主峰值明显变大,波峰宽度变小,表明新疆粮食GTFP的地区差异减小;2019年波峰高度较2011年再一次降低,表明新疆粮食GTFP水平的区域差异有增大趋势。其中2001年的区域差异最小,结果与图4(总体基尼系数)所示的总差别相吻合。

2.4 新疆粮食GTFP的空间分异程度

运用Dagum基尼系数分解法,对2001—2020年全疆和北疆、东疆与南疆3个区域的粮食GTFP的总体基尼系数、区域内基尼系数、区域间基尼系数及其贡献率进行了测度。

全疆和3个区域在2001—2020年的粮食GTFP基尼系数的变化趋势如图4所示,新疆粮食GTFP基尼系数由0.047增加到0.137,年平均增长幅度为9.6%,基尼系数在2016年达到了最大值(0.158),研究结果显示新疆粮食GTFP的空间分异在整体上表现为增加的趋势。从3个区域之间的空间分异度而言,南疆的基尼系数平均为0.091,其差异性最大;东疆的基尼系数的平均分异度为0.062;北疆的基尼系数的最小分异度是0.057。在变化趋势上,北疆、东疆和南疆基尼系数总体表现出显著的先升后降再升的总体趋势,其中南疆基尼系数的变化幅度最大,而北疆基尼系数的变化幅度最小。上述研究表明,新疆粮食GTFP仍具有显著的空间分化特征,北疆和东疆区域内分异程度均呈现波动上升态势,而全疆层面和南疆分异程度却表现出明显扩大趋势。

新疆粮食GTFP在2001—2020年各区域之间的基尼系数变化趋势如图5所示,北疆和南疆之间的基尼系数平均为0.114、东疆与南疆之间的基尼系数平均为0.104、北疆和东疆之间的基尼系数平均为0.078,其中北疆和东疆分异度最小。从变化趋势上来看,2001—2014年大部分地区的空间分异程度保持了稳定,而2014—2020年各个区域的空间分异程度表现为先增再减又增的趋势。北疆与南疆之间

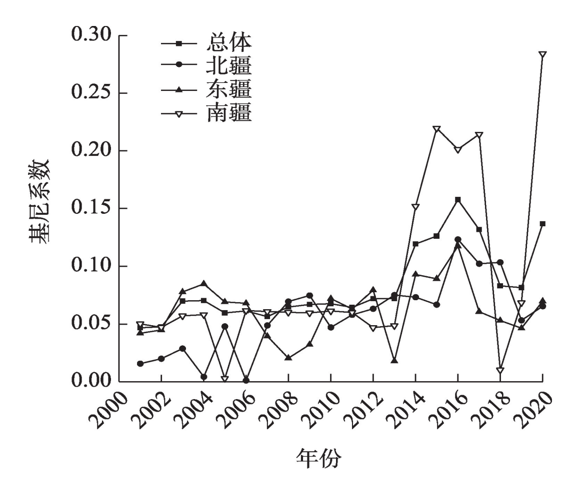


图4 总体及区域内分异程度

Fig. 4 Degree of overall and intra-regional heterogeneity

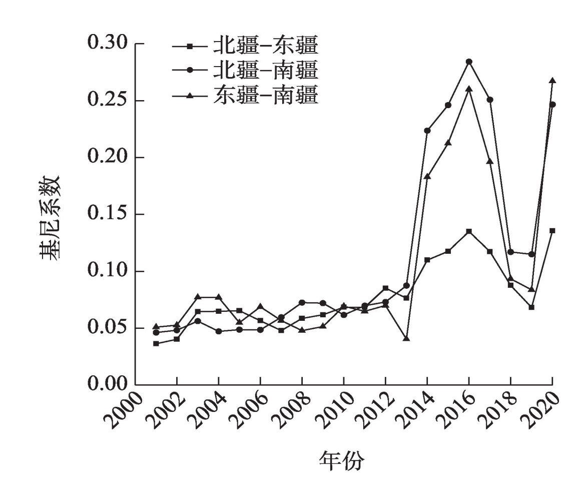


图5 区域间分异程度

Fig. 5 Degree of inter-regional heterogeneity

的基尼系数增长最快，平均增长速度为21.8%；东、南疆之间和北、东疆之间的基尼系数也呈显著上升趋势，年均增长率分别为21.2%和13.9%。

2001—2020年新疆粮食GTFP的基尼系数各分解项对总体基尼系数的贡献率变动趋势如图6所示，从贡献率的大小看，区域内差异对总体空间分异程度的贡献率最大，平均贡献率为35.2%，其次为超变密度和区域间差异，平均贡献率分别为34.5%和30.3%。从贡献率的变动趋势来看，2001—2020年区域内差异呈现"下降"趋势；超变密度呈现"先增后降"态势；区域间密度呈"上升"变化。以上结果表明，区域内差异是新疆粮食GTFP空间分异的主要来源，其次是超变密度，区域间的分异程度对新疆粮食GTFP空间分异的贡献率最小。

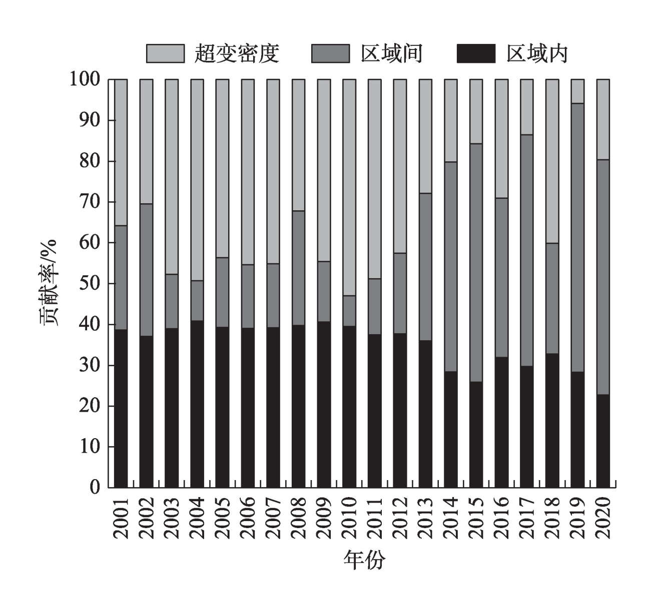


图6 空间分异来源的贡献率

Fig. 6 Contribution of sources of spatial differentiation

2.5 新疆粮食GTFP驱动因素分析

考虑农业生产具有地域性特点，不同研究区域对其影响因素指标选取也略为不同，对已有研究农业GTFP影响因素进行归纳和总结后[36-37]，兼顾数据可得性，本文选取当地经济发展水平、城镇化水平、农业机械化水平、粮食种植结构、第二三产业发展水平和农村用电量6个变量作为影响新疆各地区粮食GTFP的解释变量。

(1) 当地经济发展水平：该指标用人均地区生产总值来表示，是衡量一个地区经济发展水平的常用指标，既体现了一个地区的总体生产能力和居民的平均生活水平，又反映了一个地区的资源禀赋和资源利用效率[38]。一般来说，当地经济发展水平越高，表明该地区的经济实力越强，其农业生产投入水平也更高。经济发达的地区，通常有更多的资金和人力投入到农业生产中，能够引进和应用更先进的农业生产设施，如大型农机、无人植保机、新型灌溉设备等[39]。这些设施能够有效提升农业生产的效率和质量，节约和优化农业生产要素的使用，如土地、水、肥料、农药等，从而对粮食GTFP产生正面影响[40]。

(2) 城镇化水平：该指标用各地州城镇人口与总人口之比来表示，是衡量一个地区城镇化发展程度的重要指标，反映了农业人口向非农业人口转移的程度，体现了农业劳动力的供给和质量，以及农业与非农业部门之间的联系和协调[41]。适度的城镇化可以促进农村劳动力的转移，提高农业劳动生产率，但过快或过慢的城镇化都可能对粮食GTFP产生负面影响[42]。

(3) 农业机械化水平：该指标使用各地州单位农作物播种面积的农用机械总动力表示[43]，反映了农业生产中使用机械设备的程度，并影响了农业生产的效率和质量，以及对能源和环境的依赖程度。农业机械化可以降低人工成本，提高土地利用强度和作物单产，但也可能增加能源消耗和排放[44]。

(4) 粮食种植结构：该指标用各地州粮食种植面积占农作物总播种面积的比重来衡量，反映了一个地区粮食生产的稳定性和合理性[45]。粮食种植结构越合理，表明该地区的农业生产结构和粮食生产方式更适应当地的自然条件和市场需求，农业生产效益越高，农业环境压力越低，有利于提高粮食GTFP[46]。

(5) 第二三产业发展水平：该指标用各地州的第二三产业增加值占其国内生产总值比重表示。这个指标反映了一个地区的非农产业发展水平和结构优化程度[47]。第二三产业发展水平越高，说明该地区的非农产业越发达，非农就业机会越多，非农收入来源也越多，对农业生产形成了有效的需求拉动和供给带动，促进了农业生产结构的优化和效率的提高，从而有利于提高粮食GTFP，但第二三产业的发展会对农业生产要素的流出产生一定的虹吸效应，这对粮食GTFP的提升会有一定不利影响[48]。

(6) 农村用电量：该指标用各地州的农村用电量来表示，在一定程度上反映出一个地区的农村能

源消费水平和能源供给状况[49]。通常，农村用电量越高，表明该地区的农村能源消费需求越大，不利于粮食GTFP的提高[50]。

选择2000—2020年新疆14个地州市的面板数据，并对其进行对数转换，构建如下模型：

$$\begin{aligned}\ln(GTFP_{it}) = \alpha + \beta_1 \ln(PGDP_{it}) + \beta_2 \ln(URB_{it}) + \\ \beta_3 \ln(MACH_{it}) + \beta_4 \ln(CPS_{it}) + \\ \beta_5 \ln(ST_{it}) + \beta_6 \ln(ELE_{it}) + \mu_{it}\end{aligned} \tag{14}$$

式中：$GTFP_{it}$ 为粮食绿色全要素生产率（因变量）；$PGDP_{it}$、URB_{it}、$MACH_{it}$、CPS_{it}、ST_{it}、ELE_{it} 分别为当地经济发展水平、城镇化水平、农业机械化水平、粮食种植结构、第二三产业发展水平、农村用电量6个自变量；i 为地区变量；j 为时间变量；α 为常数项；β_1、β_2、β_3、β_4、β_5、β_6为待估系数；μ_{it} 为时空固定效应。本文采用时空双向固定效应模型，分别对全疆、北疆、东疆和南疆进行回归，其回归结果如表3所示。

（1）当地经济发展水平与粮食GTFP之间呈现负相关关系，系数为−0.063，说明区域经济发展水平越高，不利于粮食生产中的农业GTFP的提高。从区域差异上看，在北疆，当地经济发展水平与粮食GTFP之间存在着显著的正相关关系，这说明北疆农村居民的高净收入对农民的生活质量有了一定的改善，更加注重农业生产投入，有利于粮食GTFP的提升。

（2）城镇化水平对粮食GTFP呈现显著的负向影响，系数为−0.133。究其原因，可能是随着城市化程度的加深，农村地区人才的外流速度加快，从而制约了粮食GTFP的提高。从区域差异上看，南疆各地区的城镇化程度对粮食GTFP具有显著的正效应，对东疆则具有明显的负效应，对北疆则没有显著的促进作用，说明新疆各地州的发展存在着一定的不均衡性。

（3）农业机械化水平对粮食GTFP影响为正，系数0.015。说明推进机械化程度的提升，可以有效提升粮食GTFP。从区域差异上看，农业机械化水平对南北疆粮食GTFP的影响显著为负，对东疆粮食GTFP的影响显著为正，说明在推进粮食机械化时，应根据当地实际情况采取相应的环保技术措施。

（4）粮食种植结构变动与粮食GTFP之间呈显著的正相关关系，系数为0.123。这表明，当粮食播种面积在农作物总播种面积所占的比重越大时，粮食GTFP将越高。从区域差异上看，粮食种植结构变动对南疆粮食GTFP提高效果最为显著，而对东疆影响并不显著。这表明粮食种植结构还需进一步优化，应在不同地域探讨其优化途径，以提升粮食绿色生产力。

（5）第二三产业发展水平对粮食GTFP有负向影响，系数为−0.073。各地州的第二三产业发展的“虹吸”造成了粮食生产要素的大量流失，第二、三产业对农业的“反哺”作用不明显。从区域差异上看，就南疆而言，第二三产业发展水平与粮食GTFP

表3 实证回归结果

Tab. 3 Empirical regression results

变量	全疆	北疆	东疆	南疆
$\ln(PGDP_{it})$	−0.063（−0.88）	0.186**（2.53）	0.420（0.90）	0.0575（0.53）
$\ln(URB_{it})$	−0.133**（−2.34）	0.101（1.00）	−0.659*（−2.06）	0.210**（2.16）
$\ln(MACH_{it})$	0.015（0.30）	−0.136**（−2.44）	1.365**（2.23）	−0.198**（−2.14）
$\ln(CPS_{it})$	0.123***（4.30）	0.0603*（1.75）	−0.109（−0.64）	0.208**（2.01）
$\ln(ST_{it})$	−0.073（−0.51）	−0.125（−0.85）	−2.271（−1.07）	0.444（1.40）
$\ln(ELE_{it})$	−0.048*（−1.86）	−0.0325（−1.40）	0.268（0.67）	−0.075（−1.40）
Constant	1.045（1.32）	−0.205（−0.23）	−19.26*（−1.84）	2.218**（2.17）
时间固定	YES	YES	YES	YES
地区固定	YES	YES	YES	YES
Obs.	294	147	42	105
R^2	0.465	0.585	0.528	0.708

注：括号内为Z值；***、**、*分别表示通过1%、5%和10%的显著性检验；$PGDP_{it}$、URB_{it}、$MACH_{it}$、CPS_{it}、ST_{it}、ELE_{it} 分别为当地经济发展水平、城镇化水平、农业机械化水平、粮食种植结构、第二三产业发展水平、农村用电量6个自变量，其中 i 为地区变量，j 为时间变量；Constant为常数项；Obs.为样本量；R^2为决定系数。

呈正相关，其科技进步的溢出效应则有利于粮食生产率的提升。

（6）农村用电量对粮食GTFP呈现显著负向影响，系数为-0.048。这表明，随着农村电力消费水平的提高，粮食GTFP的提高受到了制约。从区域差异上看，农村电力消费对各地区的粮食GTFP的作用存在差别，其对北疆和南疆2个区域的作用为负，而对东疆的作用为正。

3 讨 论

本文基于全局非期望超效率SBM模型结合GML指数对新疆14个地州市2000—2020年的粮食GTFP进行测算。研究结果显示新疆粮食GTFP在2000—2020年整体处于优化趋势，与叶锋等[51]对中国农业GTFP测算研究结果一致。潘丹等[13]和李欠男等[14]采用Dagum基尼系数、核密度估计和空间Markov链方法同时认为区域之间的农业GTFP增长趋势将会继续扩大，这一研究结果也与本文的新疆粮食GTFP的增长存在区域异质性，且时间上地区差距大致呈现先缩小后增大的演进过程，空间上差异主要来源于区域内差异的结论一致。但上述文献只对驱动因子予以定性描述，并未实现定量化评估。本文运用固定效应模型甄别出影响新疆粮食GTFP的驱动因素。叶锋等[51]将中国粮食主产区作为整体研究对象，分析了政策补贴对粮食GTFP变化，研究区域与新疆的粮食生产条件具有本质区别，安博文等[52]认为GEC是抑制新疆农业全要素生产率提高的主要原因，这与本文的研究存在差异性；范丽霞[10]使用微观数据分析了种粮农户小麦全要素生产率变化，并未对其绿色生产技术进行分析。本文从碳排放约束视角详尽分析了新疆各地州粮食GTFP时空分异特征和演变规律，并进一步定量分析其驱动因素，分析结果更加细致、客观和详细，能够为新疆粮食安全绿色发展提供更为详尽的科学参考数据。与此同时，本文仅讨论了新疆粮食GTFP时空差异及其驱动因子，对空间溢出效应的探讨不足，未来需进一步探讨，并且本文在数据收集和处理过程中，无法直接获得完整的衡量新疆各地州市粮食生产碳排放指标的数据，其计量结果与实际情况可能存在一定的偏差。

4 结 论

（1）从时间维度上看，2000—2020年新疆粮食GTFP、GEC呈上升趋势，年均增长率分别为0.7%、1%；粮食GTC均呈下降趋势，年均增长率为-0.4%。粮食GTFP的增长依靠粮食GEC单一驱动的贡献。

（2）从空间维度上看，新疆各地区粮食GTFP呈现的水平大致为：北疆>东疆>南疆。其中北疆克拉玛依市的粮食GTFP发展水平最高。

（3）从动态演变来看，2000—2020年新疆粮食GTFP总体呈上升态势，其差距大致经历先缩小后增大的演进过程。新疆粮食GTFP的差异主要来源于区域内差异的贡献，超变密度贡献率则高于区域间差异贡献率。

（4）从驱动因素来看，粮食种植结构对粮食GTFP产生了显著的促进作用，城镇化水平和农村用电量对粮食GTFP产生了显著的负效应。而农业机械化程度有利于新疆各地区粮食GTFP的提升，当地经济发展水平与第二三产业则不利于粮食GTFP的增长。

参考文献（References）

[1] 张俊飚, 何可. "双碳"目标下的农业低碳发展研究: 现状、误区与前瞻[J]. 农业经济问题, 2022, 43(9): 35-46. [Zhang Junbiao, He Ke. Current situation, misunderstandings and prospects of agricultural low-carbon development under the targets of carbon peak and carbon neutrality[J]. Issues in Agricultural Economy, 2022, 43(9): 35-46.]

[2] 王永静, 李佳璇. 粮食主产区农业绿色全要素生产率测度及其时空分异特征研究[J]. 新疆农垦经济, 2022, 42(4): 1-10. [Wang Yongjing, Li Jiaxuan. Measurement and spatio-temporal differentiation of agricultural green total factor productivity in major grain producing areas[J]. Xinjiang State Farms Economy, 2022, 42(4): 1-10.]

[3] 青平, 邓秀新, 闵师, 等. "双循环"背景下我国粮食安全韧性及风险管控战略研究[J]. 中国工程科学, 2023, 25(4): 26-38. [Qing Ping, Deng Xiuxin, Min Shi, et al. Food security resilience and risk management strategy in China in the context of "dual circulation"[J]. Engineering Science, 2023, 25(4): 26-38.]

[4] 刘慕华, 肖国安, 钟腾龙. 生态条件约束下的粮食可持续问题研究[J]. 财经理论与实践, 2022, 43(6): 108-115. [Liu Muhua, Xiao Guoan, Zhong Tenglong. Study on grain sustainability under ecological constraints[J]. The Theory and Practice of Finance and Economics, 2022, 43(6): 108-115.]

[5] 金绍荣, 任赞杰. 乡村数字化对农业绿色全要素生产率的影响[J]. 改革, 2022, 35(12): 102-118. [Jin Shaorong, Ren Zanjie. The impact of rural digitalization on agricultural green total factor productivity[J]. Reform, 2022, 35(12): 102-118.]

[6] 沈满洪, 陈海盛. 环境信息披露网络特征及其对农业绿色全要素生产率影响[J]. 商业经济与管理, 2022, 41(11): 30-43. [Shen Manhong, Chen Haisheng. Characteristics of environmental information disclosure networks and the impact on green total factor productivity in agriculture[J]. Business Economics and Management, 2022, 41(11): 30-43.]

[7] 尹朝静, 李谷成, 贺亚亚. 农业全要素生产率的地区差距及其增长分布的动态演进——基于非参数估计方法的实证研究[J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2016, 36(2): 38-46, 135-136. [Yin Chaojing, Li Gucheng, He Yaya. Regional disparity of agricultural total factor productivity and its growth dynamic evolution: Based on non-parametric estimation methods[J]. Journal of Huazhong Agricultural University (Social Science Edition), 2016, 36(2): 38-46, 135-136.]

[8] 张煜, 孙慧. 基于DEA-Malmquist指数法的省域全要素生产率比较研究[J]. 干旱区地理, 2016, 39(2): 435-442. [Zhang Yu, Sun Hui. A comparative study of provincial total factor productivity based on DEA-Malmquist index method[J]. Arid Land Geography, 2016, 39(2): 435-442.]

[9] 李翔, 杨柳. 华东地区农业全要素生产率增长的实证分析——基于随机前沿生产函数模型[J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2018, 38(6): 62-68, 154. [Li Xiang, Yang Liu. An empirical analysis of agricultural total factor productivity growth in east China: Based on stochastic frontier production function model[J]. Journal of Huazhong Agricultural University (Social Science Edition), 2018, 38(6): 62-68, 154.]

[10] 范丽霞. 中国粮食全要素生产率的分布动态与趋势演进——基于1978—2012年省级面板数据的实证[J]. 农村经济, 2017, 35(3): 49-54. [Fan Lixia. Distribution dynamics and trend evolution of total factor productivity of grain in China: Empirical evidence based on provincial panel data from 1978 to 2012[J]. Rural Economy, 2017, 35(3): 49-54.]

[11] 高鸣, 宋洪远. 脱钩收入补贴对粮食生产率的影响——基于农户收入差异的视角[J]. 农业技术经济, 2018, 37(5): 15-27. [Gao Ming, Song Hongyuan. Impacts of decoupled income subsidy on wheat productivity and income heterogeneity[J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2018, 37(5): 15-27.]

[12] 代瑞熙, 许世卫. 中国小麦绿色全要素生产率时空特征及影响因素[J]. 农业工程学报, 2022, 38(8): 304-314. [Dai Ruixi, Xu Shiwei. Spatial and temporal characteristics and influencing factors of green total factor productivity of wheat in China[J]. Journal of Agricultural Engineering, 2022, 38(8): 304-314.]

[13] 潘丹, 应瑞瑶. 环境污染约束下农业生产率增长地区差异及其动态分布演进[J]. 中国科技论坛, 2013, 29(5): 60-67. [Pan Dan, Ying Ruiyao. Regional disparity and dynamic distribution evolution of agricultural productivity growth in China under environmental pollution constraint[J]. Forum on Science and Technology in China, 2013, 29(5): 60-67.]

[14] 李欠男, 李谷成, 尹朝静. 农业绿色全要素生产率增长的分布动态演进[J]. 统计与信息论坛, 2020, 35(10): 119-128. [Li Qiannan, Li Gucheng, Yin Chaojing. Dynamic evolution of agriculture green total factor productivity growth[J]. Statistics & Information Forum, 2020, 35(10): 119-128.]

[15] 江曼瑶, 林晓冰, 范美智, 等. 城乡收入差距对农业绿色全要素生产率的影响研究[J]. 云南农业大学学报(社会科学), 2023, 17(2): 38-43. [Jiang Manyao, Lin Xiaobing, Fan Meizhi, et al. Influence of income gap between urban and rural areas on agricultural green total factor productivity[J]. Journal of Yunnan Agricultural University (Social Science Edition), 2023, 17(2): 38-43.]

[16] 王晶, 徐玉冰. "双碳"目标下数字经济对农业绿色全要素生产率的影响[J]. 北方园艺, 2022, 46(24): 130-138. [Wang Jing, Xu Yubing. Effects of digital economy on agriculture green total factor productivity under the carbon peaking and carbon neutrality goals[J]. Northern Horticulture, 2022, 46(24): 130-138.]

[17] 何悦, 漆雁斌. 城镇化发展对粮食生产技术效率的影响研究——基于我国13个粮食主产区的面板数据[J]. 中国农业资源与区划, 2019, 40(3): 101-110. [He Yue, Qi Yanbin. Study on the influence of urbanization development on the technical efficiency of grain production: Based on the panel data of 13 major grain-producing areas in China[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2019, 40(3): 101-110.]

[18] 尹朝静. 科研投入、人力资本与农业全要素生产率[J]. 华南农业大学学报(社会科学版), 2017, 16(3): 27-35. [Yin Chaojing. Agricultural R&D, human capital and agricultural total factor productivity[J]. Journal of South China Agricultural University (Social Science Edition), 2017, 16(3): 27-35.]

[19] 傅玮韡, 张慧, 庄佩芬. 中国种植业生产集聚的影响因素研究[J]. 华中农业大学学报, 2021, 40(5): 89-97. [Fu Weiwei, Zhang Hui, Zhuang Peifen. Factors affecting the production agglomeration of planting industry in China[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2021, 40(5): 89-97.]

[20] 赵雯歆, 罗小锋, 唐林. 劳动力转移对农户粮食绿色生产效率的影响——兼论技术推广的作用[J]. 资源科学, 2023, 45(7): 1440-1454. [Zhao Wenxin, Luo Xiaofeng, Tang Lin. The influence of labor transfer on farmers' green grain production efficiency: Also discussing the role of technology extension[J]. Resources Science, 2023, 45(7): 1440-1454.]

[21] 王兴民, 王强, 董洁芳. 新疆全要素生产率估算及其经济增长源泉分析[J]. 干旱区地理, 2017, 40(4): 888-896. [Wang Xingmin, Wang Qiang, Dong Jiefang. Estimation of total factor productivity and the analysis of the source of economic growth in Xinjiang[J]. Arid Land Geography, 2017, 40(4): 888-896.]

[22] 余志刚, 孙子烨, 金鑫. 秸秆还田与农业绿色全要素生产率：促进还是抑制?[J]. 干旱区资源与环境, 2023, 37(9): 36-45. [Yu

Zhigang, Sun Ziye, Jin Xin. Straw incorporation and agriculture green total factor productivity: Promotion or inhibition?[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2023, 37(9): 36−45.]

[23] 卢新海, 崔海莹, 柯善淦, 等. 湖北省耕地利用绿色转型与粮食全要素生产率的耦合协调及其驱动机制研究[J]. 中国土地科学, 2022, 36(8): 75−84. [Lu Xinhai, Cui Haiying, Ke Shanjian, et al. Coupling coordination and driving mechanism of green transition of farmland use and total factor productivity of grain in Hubei Province[J]. China Land Science, 2022, 36(8): 75−84.]

[24] 金绍荣, 王佩佩. 人口老龄化、农地流转与农业绿色全要素生产率[J]. 宏观经济研究, 2023, 69(1): 101−117. [Jin Shaorong, Wang Peipei. Population aging, farmland transfer and agriculture green total factor productivity[J]. Macroeconomics, 2023, 69(1): 101−117.]

[25] Tone K, Toloo M, Izadikhah M. A modified slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis[J]. European Journal of Operational Research, 2020, 287(2): 560−571.

[26] 马志超, 贾丰源, 白宇航, 等. 兰州−西宁城市群绿色经济效率测度及影响因素研究——基于超效率SBM-ML和Tobit模型的分析[J]. 地域研究与开发, 2022, 41(4): 89−93. [Ma Zhichao, Jia Fengyuan, Bai Yuhang, et al. Green economic efficiency measurement and influencing factors of Lanzhou-Xining urban agglomeration: Based on super-efficient SBM-ML and Tobit model[J]. Areal Research and Development, 2022, 41(4): 89−93.]

[27] Oh D H. A global Malmquist-Luenbeger productivity index[J]. Journal of Productivity Analysis, 2010, 34(3): 183−197.

[28] 李建英, 战爽. 强化农村绿色基础设施投资提高农业全要素生产率[J]. 经济与管理, 2023, 37(5): 55−62. [Li Jianying, Zhan Shuang. Research on the impact of rural green infrastructure investment in agricultural total factor productivity[J]. Economy and Management, 2023, 37(5): 55−62.]

[29] 夏文浩, 王铭扬, 姜磊. 新疆农业碳排放强度时空变化趋势与收敛分析[J]. 干旱区地理, 2023, 46(7): 1145−1154. [Xia Wenhao, Wang Mingyang, Jiang Lei. Spatiotemporal variation trends and convergence analysis of agricultural carbon emission intensity in Xinjiang[J]. Arid Land Geography, 2023, 46(7): 1145−1154.]

[30] IPCC. Climate change 2007: Mitigation of climate change. Contribution of working group Ⅲ to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change[R]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007, 7: 63−67.

[31] 段华平, 张悦, 赵建波, 等. 中国农田生态系统的碳足迹分析[J]. 水土保持学报, 2011, 25(5): 203−208. [Duan Huaping, Zhang Yue, Zhao Jianbo, et al. Carbon footprint analysis of farmland ecosystems in China[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2011, 25(5): 203−208.]

[32] 石风光. 全要素生产率构成与中国地区经济差距演进的核密度分析[J]. 工业技术经济, 2012, 31(7): 106−113. [Shi Fengguang. The nuclear density analysis on evolution of components of TFP and regional economic disparities in China[J]. Industrial Technology & Economy, 2012, 31(7): 106−113.]

[33] 李玲蔚, 白永平, 杨雪荻, 等. 黄河几字湾地区可持续发展的动态演变及区域差异[J]. 干旱区地理, 2022, 45(2): 639−649. [Li Lingwei, Bai Yongping, Yang Xuedi, et al. Dynamic evolution and regional differences of sustainable development in Jiziwan of the Yellow River[J]. Arid Land Geography, 2022, 45(2): 639−649.]

[34] 李欠男, 李谷成. 互联网发展对农业全要素生产率增长的影响[J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2020, 40(4): 71−78, 177. [Li Qiannan, Li Gucheng. The impact of internet development on agriculture total factor productivity growth[J]. Journal of Huazhong Agricultural University (Social Science Edition), 2020, 40(4): 71−78, 177.]

[35] 余焕, 雷敏, 马金晶, 等. 基于绿色GDP和生态效率的区域可持续发展研究——以陕西省为例[J]. 干旱区地理, 2023, 46(2): 284−293. [Yu Huan, Lei Min, Ma Jinjing, et al. Regional sustainable development based on green GDP and ecological efficiency: A case of Shaanxi Province[J]. Arid Land Geography, 2023, 46(2): 284−293.]

[36] 周应恒, 杨宗之. 生态价值视角下中国省域粮食绿色全要素生产率时空特征分析[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2021, 29(10): 1786−1799. [Zhou Yingheng, Yang Zongzhi. Temporal and spatial characteristics of China's provincial green total factor productivity of grains from the ecological value perspective[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2021, 29(10): 1786−1799.]

[37] Feng Y, Yang Z N, Yu M, et al. Can market-oriented reform of agricultural subsidies promote the growth of agricultural green total factor productivity: Empirical evidence from maize in China[J]. Agriculture, 2023, 13(2): 251.

[38] 吴传清, 宋筱筱. 长江经济带城市绿色发展影响因素及效率评估[J]. 学习与实践, 2018, 35(4): 5−13. [Wu Chuanqing, Song Xiaoxiao. Influencing factors and efficiency assessment of green development of cities in the Yangtze River Economic Belt[J]. Study and Practice, 2018, 35(4): 5−13.]

[39] 董旭, 吴传清. 中国城市全要素生产率的时空演变与影响因素研究——来自35个主要城市2000—2014年的经验证据[J]. 学习与实践, 2017, 34(5): 5−16. [Dong Xu, Wu Chuanqing. Study on the spatio-temporal evolution and influencing factors of total factor productivity in Chinese cities: Empirical evidence from 35 major cities from 2000 to 2014[J]. Study and Practice, 2017, 34(5): 5−16.]

[40] 钱争鸣, 刘晓晨. 中国绿色经济效率的区域差异与影响因素分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2013, 23(7): 104−109. [Qian Zhengming, Liu Xiaochen. Regional differences in China's green economic efficiency and their determinants[J]. Chinese Journal of Population, Resources and Environment, 2013, 23(7): 104−109.]

[41] 于秋月. 粮食绿色全要素生产率的收敛性与影响因素研究[D]. 重庆: 重庆工商大学, 2022. [Yu Qiuyue. Study on convergence and influencing factors of grain total factor productivity[D]. Chongqing: Chongqing University of Commerce and Industry,

2022.]

[42] 刘战伟. 新型城镇化提升了中国农业绿色全要素生产率吗?——基于空间溢出效应及门槛特征[J]. 科技管理研究, 2021, 41(12): 201-208. [Liu Zhanwei. Has new urbanization promoted the agriculture green total factor productivity in China?: Based on spatial spillover effect and threshold characteristics[J]. Science and Technology Management Research, 2021, 41(12): 201-208.]

[43] 唐小平, 蒋健, 李双双. 我国农业机械化对种植业全要素生产率的影响——基于农村人口老龄化的面板门槛模型[J]. 中国农机化学报, 2021, 42(12): 204-213, 236. [Tang Xiaoping, Jiang Jian, Li Shuangshuang. Influence of agricultural mechanization on the productivity of the whole factor of planting industry in China: The panel threshold model based on the aging of rural population [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2021, 42(12): 204-213, 236.]

[44] 薛超, 史雪阳, 周宏. 农业机械化对种植业全要素生产率提升的影响路径研究[J]. 农业技术经济, 2020, 39(10): 87-102. [Xue Chao, Shi Xueyang, Zhou Hong. Influence of agricultural mechanisation on total factor productivity growth in planting industry[J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2020, 39(10): 87-102.]

[45] 崔宏博. 中国粮食绿色生产效率时空格局及影响因素研究[D]. 武汉: 华中师范大学, 2022. [Cui Hongbo. Study on the spatio-temporal pattern and influencing factors of green grain production efficiency in China[D]. Wuhan: Central China Normal University, 2022.]

[46] 邓灿辉. 河南省粮食绿色全要素生产率及影响因素研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2019. [Deng Canhui. Study on total factor productivity of its influencing factors in Henan Province[D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2019.]

[47] 涂维亮, 娄君庭. "双碳"目标下湖北省农业绿色全要素生产率空间特征和核心要素研究[J]. 湖北社会科学, 2023, 37(1): 65-73. [Tu Weiliang, Lou Junting. Study on the spatial characteristics and core elements of green total factor productivity of agriculture in Hubei Province under the carbon peaking and carbon neutrality goals[J]. Hubei Social Sciences, 2023, 37(1): 65-73.]

[48] 徐伟呈, 周田, 郑雪梅. 数字经济如何赋能产业结构优化升级——基于ICT对三大产业全要素生产率贡献的视角[J]. 中国软科学, 2022, 37(9): 27-38. [Xu Weicheng, Zhou Tian, Zheng Xuemei. How does digital economy promote the optimization and upgrading of industrial structure? Based on the perspective of ICT contribution to total factor productivity of the three major industries[J]. China Soft Science, 2022, 37(9): 27-38.]

[49] 韩海彬, 杨冬燕. 农业产业集聚对农业绿色全要素生产率增长的空间溢出效应研究[J]. 干旱区资源与环境, 2023, 37(6): 29-37. [Han Haibin, Yang Dongyan. Spatial spillover effect of agricultural industrial agglomeration on the growth of agricultural green total factor productivity[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2023, 37(6): 29-37.]

[50] 罗斯炫, 何可, 张俊飚. 改革开放以来中国农业全要素生产率再探讨——基于生产要素质量与基础设施的视角[J]. 中国农村经济, 2022, 38(2): 115-136. [Luo Sixuan, He Ke, Zhang Junbiao. Re-exploration of total factor productivity of agriculture since China's reform and opening-up: The role of production factor quality and infrastructure[J]. Chinese Rural Economy, 2022, 38(2): 115-136.]

[51] 叶锋, 李谷成, 李欠男. 收储制度改革能否推动玉米高质量发展?——基于全要素生产率的分析[J]. 商业研究, 2022, 65(2): 56-66. [Ye Feng, Li Gucheng, Li Qiannan. Whether the reform of collection and storage system can promote the high quality development of corn: Based on perspective of TFP[J]. Journal of Business Research, 2022, 65(2): 56-66.]

[52] 安博文, 侯震梅, 王庆杰. 高质量发展视角下新疆农业全要素生产率研究[J]. 河南科技学院学报, 2021, 41(7): 8-18. [An Bowen, Hou Zhenmei, Wang Qingjie. Research on Xinjiang agricultural total factor productivity from the perspective of high-quality development[J]. Journal of Henan Institute of Science and Technology, 2021, 41(7): 8-18.]

Spatial-temporal differentiation and driving factors analysis of green total factor productivity of Xinjiang grain under the carbon peaking and carbon neutrality goals

MA Wenjiang[1], BAI Miaoqin[1], Adili AIHEMAITI[1], ZHANG Deping[1], YANG Zhongna[1,2]

(1. School of Economics and Management, Tarim University, Aral 843300, Xinjiang China; 2. College of Economics and Management, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, Hubei, China)

Abstract: Xinjiang plays a crucial role as a significant grain production area and a key reservoir of arable land resources in China. Evaluating the green total factor productivity (GTFP) of grain in Xinjiang within the context of the carbon peaking and carbon neutrality goals holds substantial importance for advancing the green transformation of agriculture and ensuring food security in the region. This study incorporates carbon emissions from nondesired output in grain production into a framework for measuring grain GTFP. Using the SBM-GML model, we assessed the grain GTFP for 14 prefectures and municipalities in Xinjiang spanning the years 2000 to 2020. The analysis includes an examination of the spatial and temporal evolution of grain GTFP in each Xinjiang region (the North Xinjiang, East Xinjiang and South Xinjiang) using the kernel density estimation method and Dagum's Gini coefficient decomposition. Moreover, we employ a fixed effects model to identify the impacts on the total factor productivity of Xinjiang's agriculture. Subsequently, the fixed effects model is used to pinpoint the driving factors influencing grain GTFP in Xinjiang. The findings reveal several key insights: (1) Xinjiang's grain GTFP exhibits an upward trajectory from 2000 to 2020, with an average annual growth rate of 0.7%. This growth is primarily attributed to advancements in grain green technology efficiency (GEC), while progress in grain green technology (GTC) acts as a constraining factor. (2) Notable regional heterogeneity characterizes the growth of Xinjiang's grain GTFP, with the North Xinjiang region surpassing East Xinjiang and South Xinjiang in this regard. (3) Temporal regional disparities demonstrate a pattern of initial narrowing followed by an expansion, with intra-regional distinctions being the primary source of spatial differences. In addition, changes in the structure of grain cultivation significantly contribute to the growth of grain GTFP in Xinjiang, whereas urbanization levels and rural electricity consumption exert a notable dampening effect.

Key words: grain GTFP; dynamic evolution; drivers; carbon emissions; Xinjiang